

PERANCANGAN DAN SIMULASI PEMISAHAN REFF LAGU DENGAN METODE DISCRETE COSINE TRANSFORM (DCT)

DESIGN AND SIMULATION OF SEPARATING THE CHORUS SONGS BY USING DISCRETE COSINE TRANSFORM (DCT)

Brian Adam¹, Ir.Rita Magdalena,M.T.², I Nyoman Apraz Ramatryana,S.T.,M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹briaandm@gmail.com, ²ritamagdalenat@telkomuniversity.ac.id, ³ramatryana@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada penelitian sebelumnya pernah dirancang suatu aplikasi identifikasi judul lagu dari senandung manusia. Namun aplikasi tersebut masih memisahkan secara manual antara bagian verse dan reff didalam database-nya. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dirancang suatu sistem untuk menentukan bagian reff lagu secara otomatis, dengan syarat mengetahui posisi bagian reff pertama dari lagu tersebut.

Sistem yang dirancang menggunakan input lagu utuh yang kemudian ditentukan bagian reff pertamanya, lalu dilakukan ekstraksi ciri menggunakan metode Discrete Cosine Transform (DCT). Selanjutnya dilakukan pencocokan kesamaan pola bagian lagu dengan menggunakan autokorelasi untuk mendapatkan bagian reff kedua dan ketiga yang sesuai.

Setelah dilakukan pengujian dengan skenario yang dirancang maka diperoleh hasil keluaran sistem. Skenario yang dilakukan adalah menentukan ukuran frame yang paling ideal untuk menghasilkan akurasi dan waktu komputasi yang paling baik. Dalam penelitian ini ukuran frame yang digunakan, yaitu 100 ms, 200 ms, 300 ms, 500 ms, 800 ms, 900 ms, 1000 ms dan 2000 ms. Dari hasil yang telah diuji, sistem mendapat hasil yang baik pada ukuran frame 800 ms, 900 ms dan 1000 ms yaitu 96%, dengan waktu komputasi terbaik 14 detik pada ukuran frame 1000 ms.

Kata kunci : Lagu, Reff, Discrete Cosine Transform (DCT)

Abstract

In previous research ever designed the application of song title identification from humming humans. However the app still separates manually between verse and reff parts in its database. Therefore, in this final project designed a system to determine the reff of songs automatically, provided that already know the position of the first reff of the song.

The system was designed using full song input which is then determined by the first part of the reff, then extraction feature using Discrete Cosine Transform (DCT) method. Next is done matching the pattern of the song section by using autocorrelation to get the second and third part of the corresponding reff..

After testing with scenarios that are designed then obtained the results of the system output. The scenario is to determine the most ideal frame size to produce the best accuracy and computation time. In this study the frame size used is 100 ms, 200 ms, 300 ms, 500 ms, 800 ms, 900 ms, 1000 ms and 2000 ms. From the results that have been tested, the system gets good results on the frame size of 800 ms, 900 ms and 1000 ms is 96%, with the best computation time of 14 seconds at 1000 ms frame size.

Keywords : Song, Reff, Discrete Cosine Transform(DCT)

1. Pendahuluan

Musik dan lagu merupakan media suara yang dapat menggambarkan ekspresi suasana hati manusia. Setiap lirik yang terdapat dalam sebuah lagu dapat memberikan pesan dan kesan yang lebih mudah diterima oleh seluruh kalangan masyarakat, tanpa membedakan pendengarnya. Musik digital saat ini berkembang pesat, ditandai dengan hadirnya lagu-lagu baru dan musisi-musisi baru sehingga jenis-jenis musik akan semakin bervariasi dan bertambah banyak.

Pada penelitian sebelumnya dirancang analisis dan simulasi identifikasi judul lagu yang memanfaatkan masukan berupa senandung manusia (*humming*) menggunakan ekstraksi ciri *Discrete Cosine Transform* (DCT)^[4]. Akan tetapi sistem tersebut masih terbatas dalam *database*-nya dimana lagu-lagu dengan format *.wav yang disimpan di *database* dipisahkan secara manual antara bagian *verse* dan *reff*-nya. Penelitian tersebut merekam suara masukan nada *humming* dan kemudian dicocokkan dengan kumpulan lagu yang sudah dipisahkan bagiannya secara manual di *database*.

Sehingga pada penelitian berikutnya dilakukan penambahan cara kerja sistem untuk mengembangkan sistem sebelumnya, dimana sistem akan mencari bagian *reff* lagu kedua dan ketiga secara otomatis setelah ditentukan bagian *reff* pertamanya. Penelitian tersebut menerapkan ekstraksi ciri dengan berbagai metode, seperti metode korelasi dan metode *Linear Predictive Coding* (LPC). Pada penelitian menggunakan metode korelasi diperoleh hasil akurasi terbaik mencapai 92% untuk ukuran *frame* 1000ms dan 2000ms dengan waktu komputasi 4 detik^[7]. Sedangkan untuk penelitian menggunakan metode LPC diperoleh hasil akurasi terbaik mencapai 97% untuk orde 8 dan orde 16^[11].

Pada sistem yang akan dirancang pada penelitian kali ini menggunakan lagu utuh sebagai input yang kemudian dilakukan ekstraksi ciri menggunakan *Discrete Cosine Transform* (DCT). DCT yang merupakan teknik untuk merubah suatu sinyal menjadi komponen frekuensi dasar, dengan memperhitungkan nilai riil dari hasil transformasi yang digunakan untuk proses pengambilan ciri frekuensi. Penggunaan metode pada tugas akhir ini dapat menghasilkan *output* sistem dengan tingkat akurasi yang tinggi serta waktu komputasi yang baik. Hasil *output* berupa bagian lagu yang sudah dipisahkan berdasarkan bagian *reff*-nya. Sehingga sistem ini dapat memudahkan sistem sebelumnya dalam memisahkan bagian *reff* dalam *database*-nya.

2. Dasar Teori

2.1. Struktur Lagu

Intro adalah awal dari sebuah lagu yang merupakan pengantar lagu tersebut, *intro* juga berfungsi memberikan waktu untuk penyanyi dan pendengar mempersiapkan diri sebelum lagu benar-benar dimainkan. *Intro* bisa berupa musik instrumental atau suara vokal. *Intro* terbagi menjadi *intro* awal yang terletak di awal lagu, *intro* tengah biasanya terletak setelah *reff/chorus* dan *intro* akhir pada *coda/ending*^[12].

Verse adalah pengantar sebuah lagu sebelum lagu masuk ke bagian chorus. *Verse* sering disebut bagian “basa-basi” dari sebuah lagu. Bagian *verse* bukan merupakan bagian yang klimaks pada lagu. Hanya berupa pengantar dan berisi kalimat-kalimat pembuka^[12].

Bridge adalah sebuah bagian lagu yang bukan merupakan *verse* atau *chorus*. *Bridge* ini biasanya dipakai untuk menjembatani antara bagian-bagian lagu seperti penghubung antara *chorus* dengan *verse* atau sebaliknya, dan *bridge* dapat penghubung antar *chorus* dengan *chorus* yang modulasi (naik nada dasar), sehingga modulasi tidak terdengar ganjil. Nada yang dimainkan pada *bridge* biasanya dibuat sangat berbeda dengan nada pada *verse* dan *chorus*^[12].

Reff/Reffrain yang berarti pengulangan biasanya menggunakan bagian lain dari lagu (*verse*) untuk diulang dibagian ini. Notasi pengulangan dan syair sama, terkadang syair juga dimodifikasi, tetapi notasi atau nada tetap menggunakan nada yang sama^[12].

Interlude merupakan bagian kosong pada lagu seperti layaknya ‘*intro*’ yang berada di tengah lagu. *Interlude* berfungsi untuk menyambungkan *verse* dengan *verse* atau *verse* dengan *chorus*. Tidak terdapat syair pada bagian *interlude*^[12].

Modulasi adalah perpindahan nada dasar dari suatu lagu. Modulasi ditandai dengan nada pada *reff/chorus* yang berubah menjadi tinggi daripada sebelumnya. Modulasi terjadi sesudah chorus dan diiringi dengan *bridge* agar tidak terdengar aneh^[12].

Ending, *coda* dan *outro* memiliki fungsi yang berbeda. *Ending* adalah bagian penutup dari sebuah lagu. *Ending* berfungsi supaya lagu berakhir secara smooth dan tidak berhenti secara mendadak. Bagian *ending* dibuat secara *fade-out* (suara perlahan-lahan mengecil dan hilang). *Coda* yang juga disebut ‘ekor’, merupakan bagian akhir lagu yang berisi nada dan syair untuk menutup sebuah lagu. Berbeda dengan *bridge*, *coda* mengambil beberapa lirik dan nada yang sudah ada sebelumnya pada lagu serta tidak berakhir *fade-out* seperti *ending*. Sedangkan *outro* merupakan akhir dari lagu yang hanya berisi instrumen musik saja atau tanpa syair. Nada yang digunakan berbeda dengan nada-nada sebelumnya, atau hanya memodifikasi nada sebelumnya untuk mengakhiri lagu dengan lembut dan tidak terkesan berhenti secara tiba-tiba^[12].

2.2. Discrete Cosine Transform

Discrete Cosine Transform (DCT) merupakan suatu teknik untuk merubah suatu sinyal menjadi komponen frekuensi dasar, dengan memperhitungkan nilai riil dari hasil transformasi. *Discrete Cosine Transform* merupakan transformasi yang berhubungan dengan tranformasi Fourier yang memberikan fungsi diskrit dengan hanya mengambil nilai *cosinus* dari eksponensial kompleks^[2].

Discrete Cosine Transform adalah transformasi ideal yang dapat digunakan untuk proses kompresi data, dengan kemampuan memampatkan data hingga 99% lebih kecil dari sinyal masukannya^[10]. DCT dapat digunakan untuk mendapatkan nilai koefisien, hal ini dikarenakan DCT mampu menghasilkan sinyal berfrekuensi rendah lebih sedikit dan frekuensi tinggi yang banyak. DCT merekonstruksi urutan data dengan DCT koefisien, parameter yang berguna yang digunakan untuk reduksi data^[2]. Persamaan DCT satu dimensi dapat dilihat pada persamaan di bawah^{[1][6]}.

$$C(u) = \alpha(u) \sum_{n=0}^{N-1} f(x) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right], \quad u = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (2.1)$$

$$f(x) = \sum_{n=0}^{N-1} \alpha(u) C(u) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2N} \right], \quad u = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (2.2)$$

Dengan

$$\begin{cases} \alpha(u) = \sqrt{\frac{1}{N}} & , \text{ untuk } u = 0 \\ \alpha(u) = \sqrt{\frac{2}{N}} & , \text{ untuk } u \neq 0 \end{cases}$$

Dimana : $C(u)$: koefisien DCT
 N : jumlah cuplikan sinyal
 $f(x)$: cuplikan sinyal domain waktu

Pada penelitian ini DCT berfungsi untuk mengekstraksikan ciri *input* lagu secara utuh sehingga mendapatkan sampel data kemudian potongan *reff* lagu pertama akan diekstraksikan juga untuk mendapatkan frekuensi dari sampel.

2.3. Filter Pre-emphasis

Filter *pre-emphasis* dilakukan untuk memberikan penekanan pada frekuensi tinggi dan menghilangkan frekuensi rendah yang lemah. Dimana bentuk *spectral* frekuensi yang relatif bernilai tinggi untuk daerah rendah dan cenderung turun untuk daerah frekuensi yang terlalu tinggi. Tujuan dari *pre-emphasis* ini adalah untuk mendapatkan bentuk frekuensi sinyal yang halus^[8]. Hasil dari filter FIR yaitu suara yang lebih kecil tetapi lebih baik dan jelas dibandingkan suara aslinya.

Filter *pre-emphasis* didasari oleh hubungan input/output dalam domain waktu yang dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut^[7]:

$$y(n) = x(n) - ax(n-1) \quad (2.3)$$

Dimana :

$y(n)$ = sinyal hasil *pre-emphasis*
 $x(n)$ = sinyal awal sebelum *pre-emphasis*
 $x(n-1)$ = sinyal awal index ke-(n-1)
 a = konstanta filter *pre-emphasis*, $0.9 \leq a \leq 1.0$

Dalam bentuk domain- z sebagai unit filter digital, pada persamaan (2.3) akan memberikan sebuah fungsi transfer filter *pre-emphasis* seperti berikut^[7] :

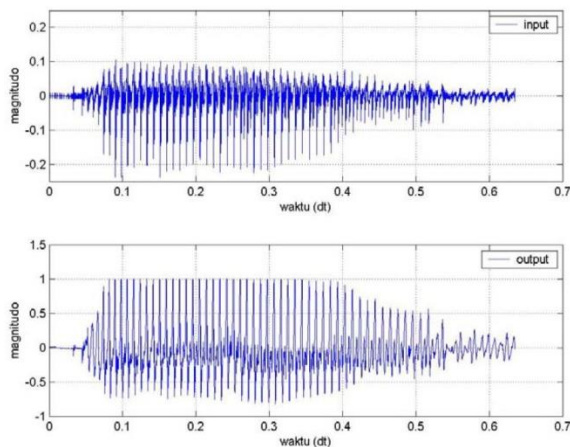
$$H(z) = 1 - az^{-1} \quad (2.4)$$

Dimana :

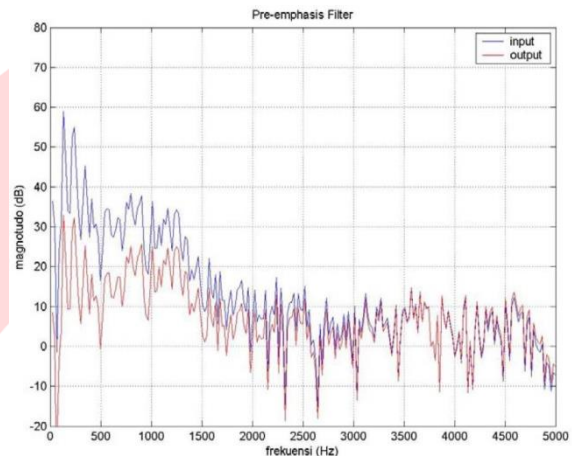
$H(z)$ = fungsi transfer filter *pre-emphasis*

z^{-1} = sinyal awal index ke-($n-1$) dalam domain- z

a = konstanta filter *pre-emphasis*, $0.9 \leq a \leq 1.0$



Gambar 2.1. Sinyal *Pre-emphasis* domain waktu^[8]



Gambar 2.2. Sinyal *Pre-emphasis* domain frekuensi^[8]

2.4. Autokorelasi

Autokorelasi merupakan formula matematis yang digunakan dalam *signal processing* untuk menganalisa suatu fungsi waktu suatu sinyal maupun fungsi berbentuk deret. Nilai autokorelasi suatu sinyal akan menunjukkan bagaimana bentuk gelombang itu membentuk suatu korelasi dengan sinyal itu sendiri. Bentuk-bentuk pola yang sama atau mirip pada waktu tertentu menunjukkan perulangan bentuk atau perioditas pola sinyal suara^[9].

$$r_l(m) = \sum_{n=0}^{N-1-m} \delta_l(n) \cdot \delta_l(n-m) \quad (2.5)$$

$$r_l(m) = \sum_{n=0}^{N-1-m} \delta_l(n+m) \cdot \delta_l(n) \quad (2.6)$$

Dimana : $r_l(m)$ = sinyal hasil autokorelasi

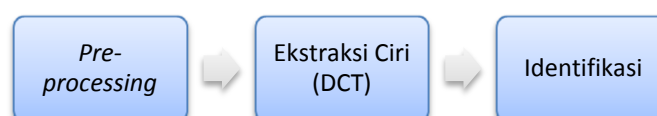
$\delta_l(n)$ = sinyal *window* ke- n

N = jumlah cuplikan sinyal

3. Perancangan Sistem

3.1. Blok Diagram

Secara keseluruhan blok diagram tahapan dari proses perancangan sistem direpresentasikan sebagai berikut :



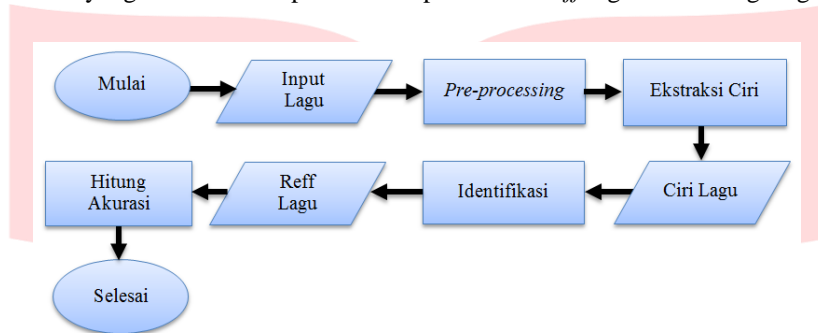
Gambar 2.1 Blok Diagram Sistem

Dalam perancangan ini terdapat 3 tahapan, yang pertama *pre-processing*, blok ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas data sebelum dilakukan ekstraksi ciri terdiri dari *filtering*, dan *stereo to mono*.

Setelah dilakukan *pre-processing*, selanjutnya data diproses pada blok ekstraksi ciri yang kemudian diambil cirinya menggunakan ekstraksi ciri *Discrete Cosine Transform* (DCT). Proses berikutnya adalah identifikasi bagian lagu (*reff*) dengan menggunakan autokorelasi untuk menentukan nilai yang paling sesuai.

3.2. Alur Kerja Sistem

Alur kerja sistem bertujuan untuk mempermudah dalam perancangan sistem pada tugas akhir ini. Berikut alur kerja sistem yang secara umum pada sistem pemisahan *reff* lagu secara langsung :

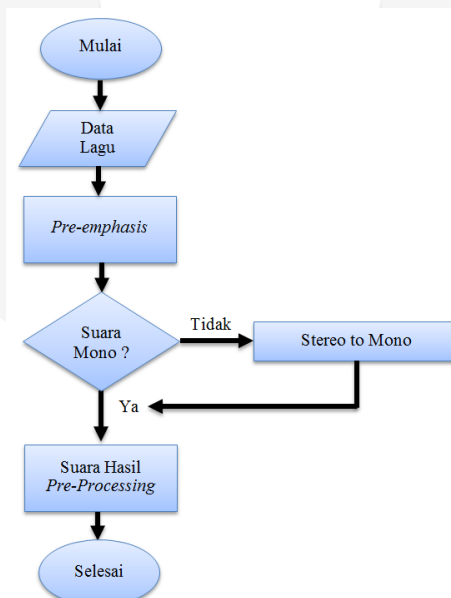


Gambar 2.2 Alur Kerja Sistem

Data input lagu berupa 50 lagu dengan 5 genre yang berbeda, yaitu pop, EDM, funk, rock, hip-hop. Data lagu selanjutnya diproses untuk menghasilkan ciri masing-masing, hasil ekstraksi ciri pada data lagu kemudian diidentifikasi sebagai acuan. Proses selanjutnya identifikasi data lagu dengan menggunakan metode autokorelasi yaitu menentukan jarak terdekat antara perulangan lagu, sehingga diperoleh kecocokan jarak terdekat dari bagian lagu (*reff*) yang sesuai.

3.3. Pre-processing

Setelah melakukan tahap pengambilan data, maka dilanjutkan proses *pre-processing* yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas lagu sebelum masuk ke tahap ekstraksi ciri. Adapun beberapa tahapan dalam proses *pre-processing* ini adalah sebagai berikut :



Gambar 2.3 Flowchart Pre-Processing

3.4. Ekstraksi Ciri



Gambar 2. 4 Flowchart Ekstraksi Ciri

Tahap ini menggunakan DCT per *frame* untuk mengambil nilai frekuensi data, yang bertujuan mengambil ciri pada input sinyal audio. Setelah itu nilai DCT per *frame* akan mendeteksi kesamaan nada pada setiap *frame* yang ada.

3.5. Identifikasi

Setelah dilakukan proses ekstraksi ciri menggunakan DCT maka proses berikutnya adalah proses identifikasi dengan menggunakan autokorelasi yang berfungsi untuk menentukan kesamaan jarak antara pola yang mirip pada setiap *frame*-nya. Setiap *frame* yang telah melalui proses ekstraksi ciri kemudian dilakukan autokorelasi untuk mendapatkan nilai yang paling sesuai dengan pola.

3.6. Akurasi dan Waktu Komputasi

Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan parameter akurasi dan waktu komputasi. Akurasi merupakan ukuran ketelitian sistem dalam mencocokkan antara *reff* lagu pertama dengan lagu utuh untuk mendapatkan bagian *reff* selanjutnya sehingga menghasilkan keluaran sistem yang tepat. Perhitungan akurasi sistem secara matematis dapat dituliskan dengan rumus sebagai berikut :

$$Akurasi = \frac{Jumlah\ data\ benar}{Jumlah\ data\ keseluruhan} \times 100\ \% \quad (3.1)$$

Sedangkan waktu komputasi merupakan waktu yang dibutuhkan sistem dalam menentukan bagian *reff* berikutnya setelah ditentukan bagian *reff* pertamanya terlebih dahulu. Pada sistem ini, waktu komputasi dihitung dengan menggunakan waktu selesai dikurangi dengan waktu mulai sehingga diperoleh waktu komputasinya.

$$Waktu\ komputasi = Waktu\ selesai - waktu\ mulai \quad (3.2)$$

4. Pengujian Sistem dan Analisis

Setelah dilakukan pengujian maka hasil pengujian tersebut dianalisis dan dapat disimpulkan hasil performansinya. Untuk mengetahui performansi sistem yang telah dirancang, maka dilakukan pengujian terhadap sistem dengan skenario, yaitu pengujian dan analisis pengaruh ukuran *frame* pada ekstraksi ciri *Discrete Cosine Transform* (DCT) terhadap akurasi dan waktu komputasi sistem.

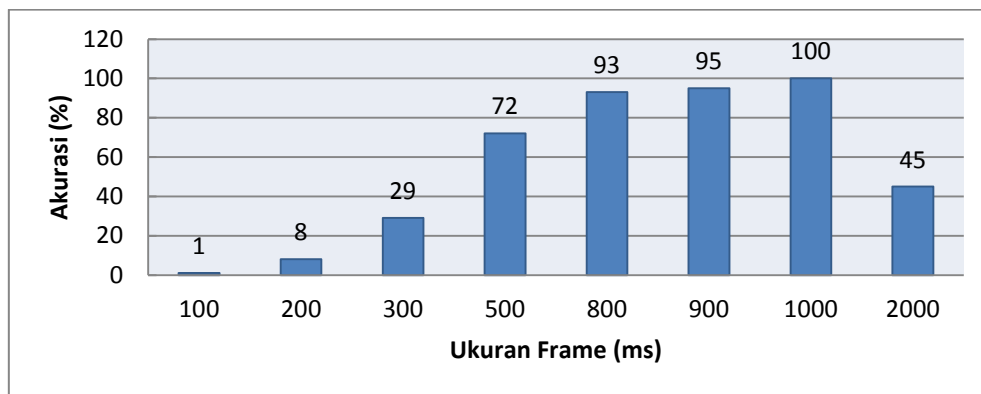
4.1. Pengaruh Ukuran *Frame* terhadap Akurasi *Output* Sistem

Dalam skenario ini dilakukan pengujian pengaruh ukuran *frame* pada proses ekstraksi ciri. Pengujian menggunakan data 50 lagu dengan 10 lagu yang dikelompokkan menjadi 5 genre yaitu pop, EDM, funk, rock, dan hip-hop.

Tabel 4. 1 Hasil keseluruhan Data Lagu

Ukuran <i>Frame</i> (ms)	Waktu Proses Penentuan (s)	Akurasi (%)
100	147	1
200	78	8
300	51	29
500	30	72
800	19	93
900	18	95
1000	14	100
2000	9	45

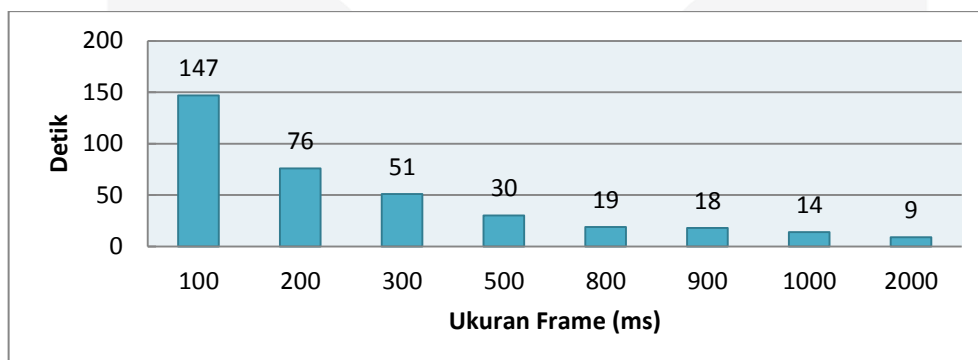
Grafik akurasi sistem untuk keseluruhan data :



Gambar 4. 1 Pengaruh Ukuran *Frame* keseluruhan Data Lagu

Dari gambar 4.1 didapat nilai ukuran *frame* yang baik untuk seluruh lagu yaitu 800 ms, 900 ms dan 1000 ms. Dan ukuran *frame* yang paling ideal yaitu ukuran *frame* 1000 ms karena waktu komputasi pencarian *reff* yang lebih baik dari 800 ms dan 900 ms. Sedangkan untuk ukuran *frame* 2000 ms mempunyai waktu komputasi yang lebih cepat namun tidak menjamin akurasi yang baik.

Dan berikut grafik waktu komputasi sistem keseluruhan data :



Gambar 4. 2 Pengaruh Ukuran *Frame* terhadap waktu komputasi

Semakin kecil ukuran *frame* maka akan semakin lama pula waktu komputasi yang dilakukan dan semakin besar ukuran *frame* maka semakin cepat waktu komputasi sistem.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian sistem dan analisis sistem dalam Tugas Akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada pengujian sistem yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan sistem ini DCT dapat bekerja dengan baik dalam menentukan *reff* lagu.
2. Sistem dapat menentukan posisi *reff* pada lagu dengan menggunakan autokorelasi pada setiap *frame* yang sudah ditentukan ukurannya, hasil estimasi spektral DCT akan berkorelasi dari *frame* pada *reff* lagu pertama ke *frame* pada lagu utuh untuk melakukan proses pencocokan ciri.
3. Sistem dapat menentukan *reff* lagu dari seluruh genre yang diuji dengan baik, dengan akurasi sebesar 100% dengan rata-rata lama waktu komputasi 14 detik pada ukuran *frame* 1000 ms.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat digunakan untuk pengembangan dari penelitian sistem ini, yaitu:

1. Pengembangan metode ekstraksi ciri lain yang dapat meningkatkan akurasi yang lebih baik.
2. Pengembangan cara kerja sistem yang mempunyai waktu komputasi lebih baik.
3. Penentuan bagian *reff* lagu dengan metode *Discrete Cosine Transform* dapat ditentukan awalnya secara otomatis
4. Pengembangan pencarian bagian-bagian lagu untuk semua genre lagu.

Daftar Pustaka

- [1] Ambika, D., & V.Radha. (2014). *Speech Watermarking Using Discrete Wavelet Transform, Discrete Cosine Transform And Singular Value Decomposit*. Coimbatore: Avinashilingam Institute for Home Science and Higher Education for Women..
- [2] Andhini, R. B. (2015). *Analisis Dan Implementasi Aplikasi Pengenalan Suara Menjadi Teks Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation*. Bandung : Universitas Telkom.
- [3] Aprilia, W. (2014, Agustus 12). *Format File Audio*. Dipetik Februari 26, 2017, dari rumah-cerdasku.blogspot.com: <http://rumah-cerdasku.blogspot.co.id/2014/08/format-file-audio.html>
- [4] Archamadi, A. (2016). *Analisis dan Simulasi Identifikasi Judul Lagu dari Senandung Manusia Menggunakan Ekstraksi Ciri (Discrete Cosine Transform)*. Bandung: Universitas Telkom.
- [5] Korhis. (2010, Oktober 7). *Analisis Karakter Suara*. Dipetik Februari 26, 2017, dari korn-n-el.blogspot.co.id: <http://korn-n-el.blogspot.co.id/2010/10/analisis-karakter-suara.html>
- [6] Nikmehr, H., & Hashemy, S. T. (2010). *A New Approach to Audio Watermarking Using Discrete Wavelet and Cosine Transforms*. Zahedan: University of Sistan and Baluchestan.
- [7] Patriandhika, F. (2017). *Simulasi dan Analisis Pencari Reff dan Verse Lagu pada Musik Digital dengan Metode Korelasi*. Bandung: Universitas Telkom.
- [8] Santoso, T. B., & Huda, M. (2008, Desember 9). *Index of/LN_SIP_Prak*. Dipetik November 27, 2017, dari LN_SIP_Prak: http://www.tribudi.lecturer.pens.ac.id/rev_01_Speech_prak_4_Matlab.pdf
- [9] Santoso, T. B., & Huda, M. (2008, Desember 9). *Index of/LN_SIP_Prak*. Dipetik November 27, 2017, dari LN_SIP_Prak: http://www.tribudi.lecturer.pens.ac.id/rev_01_Speech_prak_5_Matlab.pdf
- [10] Setyawan, M. T. (2011). *Simulasi Tapis Finite Impulse Response (FIR) dengan Discrete Cosine Transform (DCT)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [11] Sinaga, S. A. (2017). *Analisis dan Simulasi Pencarian Reff dan Verse Lagu pada Musik Digital dengan Metode Linear Predictive Coding (LPC)*. Bandung: Universitas Telkom.
- [12] Tomo. (2015, Maret 19). *Mengenal bagian-bagian dalam lagu*. Dipetik Februari 14, 2017, dari jadiberita.com: <http://jadiberita.com/58559/mengenal-bagian-bagian-dalam-lagu.html>
- [13] Utomo, A. B. (2011). *Analisis Karakteristik Suara Manusia Berdasarkan Frekuensi Fundamental Dan Tingkat Usia Pada Pelajar SLTP dan SMA*. Semarang: Universitas Diponegoro.